

Pengaruh Komposisi Larutan Cetak Polyvinylidene fluoride (PVDF) dan Non Pelarut Metanol Terhadap Kinerja Membran PVDF Dalam Pemisahan Pewarna Indigo

Effect of Casting Solution Polyvinylidene fluoride (PVDF) and Non Solvent Methanol to PVDF Membrane Performance in the Separation of Indigo Dye

Binar Berlian* dan Nita Kusumawati

Jurusan Kimia FMIPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Surabaya, 60231

*e-mail : binarberlian@yahoo.com

Abstrak. Telah dilakukan penelitian tentang pembuatan membran PVDF (Polyvinylidene fluoride) dan pemanfaatannya pada pemisahan limbah pewarna indigo. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui komposisi larutan cetak membran PVDF yang memiliki karakteristik dan kinerja membran terbaik. Untuk mengetahui karakteristik membran PVDF, dilakukan uji kekuatan mekanik membran dengan menggunakan Autograph serta dilakukan analisa menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan dan pori membran. Sementara, untuk mengetahui kinerja membran, dilakukan uji fluks serta rejeksi menggunakan alat uji membran “dead-end” dengan tekanan operasional 1 kg/cm². Membran PVDF terbaik didapat pada komposisi 15/84/1 (PVDF/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 50% H₂O 50% CH₃OH, yang memiliki nilai Modulus Young 3571,43 N/m², nilai rejeksi 94,67%, dan nilai fluks sebesar 2449,78 L/m².jam. Uji SEM dan uji SAA membran terbaik yang dihasilkan tampak bahwa membran yang dihasilkan merupakan membran asimetri yang memiliki ukuran pori sebesar 0,0019134 µm.

Kata Kunci: membran, PVDF, NMP, pengolahan limbah.

Abstract. The manufacturing of PVDF (Polyvinylidene fluoride) membrane and its application in indigo dyes waste water separation has been done. The purpose of this research was to determine composition of casting solution PVDF membrane which have the best characteristics and performance membrane. To know characteristics PVDF membrane, it has been done membrane mechanical strength test using Autograph and it has been analyzed using Scanning Electron Microscopy (SEM) to determine morphological surface and membrane pore. To determine membrane performance, it has been done flux and rejection test using “dead end” membrane test with pressure of 1 kg/cm². The best PVDF membrane composition of 15/84/1 (PVDF/NMP/NH₄Cl) with 50% H₂O 50% methanol has the mechanical strength with 3571.43 N/m², the value of membrane rejection was 94.67% and the value of flux was 2449.78 L/m².jam. The result of SEM test and SAA test for the best membrane was an asymmetric with porous membrane having pore size of 0,0019134 µm.

Keywords: membrane, PVDF, NMP, waste treatment.

PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan sektor strategis bagi kegiatan ekspor Indonesia karena sektor industri menyumbang devisa cukup besar dan mampu menyerap banyak tenaga kerja. Akan tetapi, disamping dampak positif, kegiatan di bidang sandang ini juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Industri tekstil adalah industri yang sangat intensif dalam penggunaan air, sehingga jumlah limbah cair yang dihasilkannya sangat melimpah. Salah satu penyebab bahayanya limbah

cair tekstil adalah *colouring agent* yang digunakan dalam proses pewarnaan. Industri *jeans* atau denim adalah salah satu jenis industri tekstil yang banyak menggunakan pewarna indigo dalam proses pewarnaanya.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, diperlukan upaya *treatment* yang tepat untuk pengolahan limbah pewarna tekstil. Terdapat sejumlah teknik/metode yang dapat digunakan untuk *treatment* limbah cair tekstil dan produk tekstil [2], termasuk di dalamnya adalah sejumlah proses yang telah diuji untuk penghilangan warna pada limbah

batik, diantaranya adalah: (a) penyerapan oleh karbon aktif [3] atau biosorben [4], (b) oksidasi dan fotooksidasi [5], (c) koagulasi-flokulasi [6]. Namun, ketiga metode tersebut masih memiliki kelemahan.

Metode pengolahan limbah yang sedang dikembangkan para peneliti saat ini adalah teknologi membran. Pada umumnya membran yang digunakan adalah membran berbahan alam dari kitosan. Akan tetapi membran tersebut masih memiliki beberapa kelemahan seperti memiliki sifat mekanik yang tidak terlalu baik, diantaranya adalah ketahanannya yang lemah terhadap tarikan dan regangan, mudah retak, dan pori-pori yang berbentuk spons. Sebagai alternatifnya, *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) telah menjadi material membran yang banyak digunakan dalam beberapa tahun belakangan ini.

Polyvinylidene fluoride (PVDF) merupakan material yang cukup penting dalam pembuatan membran ultrafiltrasi (UF) karena ketahanan kimia yang dimilikinya. PVDF bersifat resistan pada hampir semua asam organik dan anorganik serta dapat digunakan pada rentang pH yang luas [8]. Pada penelitian ini, membran PVDF yang dihasilkan dari metode preparasi secara inversi fasa dengan teknik perendaman-pengendapan dalam larutan non pelarut metanol. Membran PVDF yang terbentuk, selanjutnya akan diuji kinerjanya dalam pemisahan pewarna indigo. Hasil penelitian akan diperoleh melalui analisa menggunakan beberapa instrumen, seperti *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat morfologi permukaan dan penampang melintang dari membran, autograf untuk mengukur kekuatan mekanik membran, dan reaktor membran “dead-end” untuk mengukur permeabilitas membrane [9].

METODE PENELITIAN

Alat

Pada penelitian ini digunakan alat-alat gelas, antara lain gelas kimia, tabung reaksi, labu takar, gelas ukur, corong gelas, spatula dan cawan arloji. Selain itu, juga digunakan pipet tetes dan pipet volume untuk pemindahan larutan, *stirrer* untuk pencampuran bahan membran, neraca analitik, kompresor sebagai sumber tekanan, dan cawan petri sebagai cetakan membran. Instrumen yang digunakan untuk analisis pada penelitian ini, meliputi *Scanning Electron Microscope* (SEM), *autograph*, reaktor membran “dead-end” dan spektrofotometri UV-Vis.

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah PVDF MW-534000 diperoleh dari *Sigma Aldrich Inc* Singapore dan zat pewarna indigo. Bahan analisis dan pembantu yang digunakan dalam penelitian ini adalah: NMP, metanol (CH₃OH), aquades.

PROSEDUR PENELITIAN

Pembuatan membran

PVDF dilarutkan dalam *N-Methylpyrrolidinone* (NMP), kemudian ke dalamnya ditambahkan aditif NH₄Cl dengan perbandingan (14:84:2) %(b/b). Campuran bahan membran tersebut, selanjutnya diaduk dengan *magnetic stirrer* pada temperatur 40 °C hingga homogen selama 15 menit. Larutan tersebut lalu dicetak pada cawan petri dan kemudian direndam dalam bak koagulasi yang berisi campuran aquades dan metanol dengan perbandingan 100/0; 50/50; dan 0/100 %(v/v). Membran PVDF padat yang terbentuk, dicuci dengan aquades untuk menghilangkan kelebihan pelarut dan setelah itu dikeringkan. Perlakuan yang sama juga diterapkan untuk pembuatan membran dengan komposisi PVDF : NMP : NH₄Cl adalah (14,5:84:1,5; 15:84:1; 15,5:84:0,5; 16:84:0)

Aplikasi membran pada alat dead-end dan penentuan nilai fluks pemisahan

Membran yang akan diuji dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter ± 5 cm. Membran diletakkan di bagian bawah alat penguji yang sebelumnya telah dilapisi dengan kertas saring. Selanjutnya dilakukan pengaplikasian aquades pada membran selama ± 30 menit, agar pori-pori membran dapat bekerja lebih efektif. Seratus mililiter larutan *feed* indigo dimasukkan ke dalam alat, ditutup rapat dan kemudian kedalamnya dialirkan tekanan 1 kg/cm². Waktu yang dibutuhkan hingga seluruh permeat melewati membran, dicatat. Selanjutnya dapat dihitung nilai fuksnya sesuai persamaan berikut ini:

$$J = \frac{V}{A t}$$

Dimana:

J = nilai fluks (Lm⁻²jam⁻¹)

t = waktu (jam)

V = volume permeat (L)

A = luas permukaan membran (m²)

Aplikasi membran pada alat *dead-end* dan penentuan nilai rejeksi pemisahan

Untuk mengetahui kinerja membran PVDF terhadap pewarna Indigo secara utuh dilakukan uji selektivitas (rejeksi), dengan cara mengukur selisih konsentrasi pewarna Indigo sampel (mula-mula) dengan konsentrasi pewarna Indigo setelah dilewatkan membran PVDF. Pengukuran konsentrasi pewarna Indigo dilakukan dengan mengukur nilai absorbansi menggunakan instrumen Spektrofotometri UV Vis. Nilai absorbansi yang diperoleh dimasukkan ke dalam persamaan regresi dari kurva kalibrasi, untuk selanjutnya dapat dihitung koefisien rejeksinya sesuai persamaan berikut ini:

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\%$$

Dimana:

R = koefisien rejeksi

C_p = konsentrasi zat terlarut dalam permeate

C_f = konsentrasi zat terlarut dalam umpan

Karakterisasi Membran

Karakterisasi membran PVDF meliputi uji kekuatan mekanik dan pengambilan gambar morfologi serta penampang melintang membran dengan *Scanning electron microscope* (SEM). Untuk mengetahui nilai kekuatan mekanik membrane dilakukan uji tarik menggunakan *autograph*. Membran dipotong berbentuk persegi panjang dengan ukuran 6x1 cm kemudian dijepitkan ke *autograph* dan dicatat nilai yang muncul pada alat. Nilai yang didapat dimasukkan pada persamaan berikut ini:

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana:

$Y = \text{Modulus Young}$ ε = regangan

σ = tegangan

Teknik analisis data

Dari data yang fluks dan rejeksi yang diperoleh, akan dilakukan analisis data dengan menggunakan teknik ANOVA dua arah untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh komposisi larutan cetak, larutan non pelarut terhadap morfologi, kekuatan mekanik, dan kinerja membran dalam pemisahan pewarna Indigo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kekuatan Mekanik Membran

Tabel 1. Hasil Kekuatan mekanik membran PVDF

Larutan Cetak (%b/b/b)	Non Pelarut (H ₂ O/CH ₃ OH) (%v/v)	Modulus Young (N/m ²)
14/84/2	100% H ₂ O	3174,60
14,5/84/1,5		3246,75
15/84/1		3273,81
15,5/84/0,5		3333,33
16/84/0		3424,66
14/84/2	50% H ₂ O: 50% CH ₃ OH	3488,37
14,5/84/1,5		3503,18
15/84/1		3571,43
15,5/84/0,5		3600,00
16/84/0		3636,36
14/84/2	100% CH ₃ OH	3684,21
14,5/84/1,5		3716,22
15/84/1		3793,10
15,5/84/0,5		3846,15
16/84/0		3879,31

Berdasarkan data tabel 1, diketahui bahwa membran pada komposisi 14/84/2 (PVDF/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 100% H₂O memiliki nilai *Modulus Young* minimum, yakni 3174,60 N/m² sedangkan membran pada komposisi 16/84/0 dengan non pelarut 100% metanol memiliki nilai *Modulus Young* maksimum sebesar 3879,31 N/m². Dikarenakan semakin banyak partikel polimer PVDF yang terdistribusi secara lebih teratur dalam larutan cetak dan mempersempit ruang yang terbentuk di antara ikatan polimer PVDF. Kondisi ini telah menyebabkan meningkatnya kerapatan ikatan antar partikel polimer PVDF. Sebaliknya, komposisi PVDF yang sedikit mengakibatkan susunan partikel yang tersebar dalam larutan cetak menjadi tidak merata sehingga saat dilakukan uji tarik membran mudah rapuh dan memiliki nilai modulus young kecil. Tidak hanya komposisi larutan cetak, komposisi non pelarut juga turut berperan dalam menentukan kekuatan mekanik membran PVDF. Besarnya selisih perbedaan parameter kelarutan antara pelarut dengan non pelarut yang digunakan akan sangat menentukan laju inversi fasa yang terjadi, yang secara otomatis juga akan menentukan kualitas fisik membran. Membran PVDF yang dihasilkan dari proses presipitasi menggunakan non pelarut H₂O cenderung memiliki ikatan antar polimer yang tidak

terlalu rapat dibandingkan dengan membran PVDF yang dihasilkan dari proses presipitasi menggunakan non pelarut metanol, sebagai akibatnya adalah kerapatan partikel polimer membran yang dihasilkan dari penggunaan H₂O sebagai non pelarut menjadi lebih besar dibandingkan menggunakan metanol sebagai non pelarut. Hal itulah yang menyebabkan kemampuan membran yang bersangkutan dalam mempertahankan kerapatan antar partikelnya ketika diaplikasikan gaya dengan besaran tertentu per satuan luas, menjadi kecil.

Berdasarkan analisis statistik menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA), didapatkan nilai signifikansi <0,05, yaitu sebesar 0,000, yang artinya komposisi larutan cetak dan non pelarut mempengaruhi kekuatan mekanik membran PVDF.

Permeabilitas (Fluks) Membran

Kinerja membran PVDF dalam pemisahan pewarna Indigo dapat dilihat salah satunya dari nilai fluks yang dihasilkan melalui proses uji alir menggunakan reaktor membran “dead end”. Nilai fluks menunjukkan jumlah volume permeat yang melewati satu satuan luas membran dalam waktu tertentu.

Berdasarkan data pada tabel 2 dapat dilihat bahwa membran pada komposisi 14/84/2 (PVDF/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 100% H₂O memiliki nilai fluks maksimum sebesar 2626,74 L/m².jam, sedangkan membran pada komposisi 16/84/0 (PVDF/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 100% metanol memiliki nilai fluks minimum sebesar 2295,16 L/m².jam.

Hal tersebut disebabkan semakin banyak kadar PVDF yang ada dalam larutan cetak yang seiring dengan penurunan kadar NH₄Cl, secara otomatis akan mengakibatkan penurunan nilai fluks. Hal ini disebabkan semakin meningkatkan jumlah partikel PVDF akan mengakibatkan terbentuknya konfigurasi polimer yang terdistribusi lebih rapat dalam larutan cetak dengan tingkat porositas yang lebih rendah. Kondisi ini akan membuat gaya dorong yang diperlukan untuk mampu melewati partikel tertentu menembus membran menjadi lebih besar dan kecepatan larutan umpan melewati membran semakin rendah

Tabel 2. Nilai fluks membran PVDF

Larutan Cetak (%b/b/b)	Non Pelarut (H ₂ O/CH ₃ OH) (%v/v)	Fluks (L/m ² .jam)
14/84/2	100% H ₂ O	2626,74
14,5/84/1,5		2547,77
15/84/1		2534,85
15,5/84/0,5		2510,04
16/84/0		2473,41
14/84/2	50% H ₂ O: 50% CH ₃ OH	2485,71
14,5/84/1,5		2462,03
15/84/1		2449,78
15,5/84/0,5		2414,88
16/84/0		2382,09
14/84/2	100% CH ₃ OH	2394,64
14,5/84/1,5		2366,70
15/84/1		2349,62
15,5/84/0,5		2322,50
16/84/0		2295,16

Selain itu, penggunaan non pelarut dengan komposisi metanol yang lebih besar dibandingkan dengan H₂O, juga telah menyebabkan terbentuknya konfigurasi partikel polimer yang lebih rapat pada membran PVDF padat. Perbedaan parameter kelarutan yang tidak terlalu besar antara metanol terhadap pelarut NMP dibandingkan H₂O, telah menyebabkan laju difusitas mutual non pelarut pada larutan cetak menjadi lambat, yang secara otomatis juga akan memperlambat laju presipitasi larutan cetak membran PVDF yang dipreparasi secara inversi fasa dengan teknik perendaman-pengendapan. Membran PVDF yang dihasilkan dari peristiwa presipitasi yang relatif lambat cenderung memiliki kerapatan partikel polimer membran yang sangat tinggi. Tingkat kerapatan partikel polimer yang tinggi tersebut, telah menyebabkan gaya dorong yang diperlukan untuk mampu melewati partikel tertentu menembus membran menjadi lebih besar dan kecepatan larutan umpan melewati membran semakin rendah olehkarenanya nilai fluksnya makin minimum.

Berdasarkan analisis statistik menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA), didapatkan nilai signifikansi <0,05, yaitu sebesar 0,000, yang artinya komposisi larutan cetak dan non pelarut mempengaruhi nilai fluks membran PVDF.

Selektivitas (Rejeksi) Membran

Selektivitas merupakan suatu ukuran kemampuan membran dalam menahan suatu spesi

atau melewati spesi tertentu. Sifat ini sangat dipengaruhi oleh interaksi *interface* membran dengan spesi, ukuran spesi dan ukuran pori membran. Parameter yang digunakan untuk menyatakan selektivitas suatu membran adalah rejeksi.

Tabel 3. Nilai rejeksi membran PVDF

Larutan Cetak (%b/b/b)	Non Pelarut (H ₂ O/CH ₃ OH) (%v/v)	Rejeksi (%)
14/84/2	100% H ₂ O	89.33
14,5/84/1,5		90.33
15/84/1		91.33
15,5/84/0,5		92.33
16/84/0		93.33
14/84/2	50% H ₂ O: 50% CH ₃ OH	94.00
14,5/84/1,5		94.33
15/84/1		94.67
15,5/84/0,5		95.00
16/84/0		95.00
14/84/2	100% CH ₃ OH	94.67
14,5/84/1,5		95.00
15/84/1		95.27
15,5/84/0,5		95.33
16/84/0		95.33

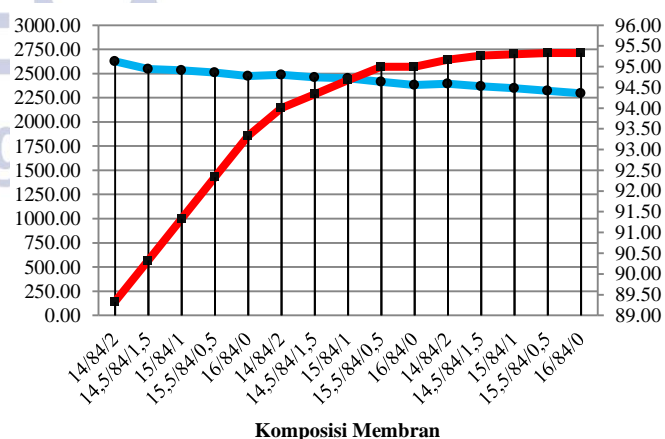
Berdasarkan data pada tabel 3, diketahui bahwa membran pada komposisi 14/84/2 (PVDF/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 100% H₂O memiliki nilai rejeksi minimum, yakni 89,33% sedangkan membran pada komposisi 16/84/0 (PVDF/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 100% metanol memiliki nilai rejeksi maksimum sebesar 95,33%. Semakin banyak komposisi PVDF yang ada dalam larutan cetak, semakin tinggi pula nilai rejeksi membran PVDF terhadap larutan pewarna Indigo. Hal ini disebabkan kadar PVDF yang tinggi dalam larutan cetak menyebabkan kerapatan yang tinggi pula diantara partikel polimer PVDF. Kondisi ini akan meningkatkan tahanan membran PVDF terhadap partikel pewarna indigo ketika menembus membran. Membran dengan ukuran pori yang kecil mengakibatkan nilai rejeksi tinggi karena dengan pori-pori yang kecil, membran memiliki tingkat selektivitas yang baik akibat zat warna tertahan pada membran. Sejalan dengan hal tersebut, penggunaan non pelarut dengan komposisi metanol yang lebih besar dibandingkan dengan H₂O, juga telah menyebabkan terbentuknya konfigurasi partikel polimer yang lebih rapat pada membran PVDF padat. Perbedaan parameter kelarutan yang tidak

terlalu besar antara metanol terhadap pelarut NMP dibandingkan H₂O, telah menyebabkan laju difusitas mutual non pelarut pada larutan cetak menjadi lambat, yang secara otomatis juga akan memperlambat laju presipitasi larutan cetak membran PVDF yang dipreparasi secara inversi fasa dengan teknik perendaman-pengendapan. Membran PVDF yang dihasilkan dari peristiwa presipitasi yang relatif lambat cenderung memiliki kerapatan partikel polimer membran yang sangat tinggi. Tingkat kerapatan partikel polimer yang tinggi tersebut, telah menyebabkan meningkatkan tahanan membran terhadap partikel pewarna indigo ketika menembus membran oleh karenanya nilai rejeksinya makin maksimum.

Berdasarkan analisis statistik menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA), didapatkan nilai signifikansi <0,05, yaitu sebesar 0,000, yang artinya komposisi larutan cetak dan non pelarut mempengaruhi nilai rejeksi membran PVDF.

Analisa Morfologi Membran PVDF menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

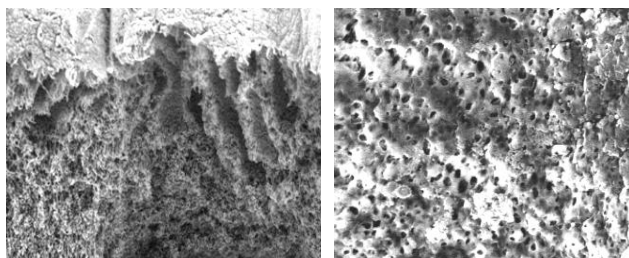
Pada penelitian ini dilakukan analisis morfologi membran PVDF dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada membran PVDF dengan komposisi 15/84/1 (PVDF/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 50% H₂O 50% metanol. Dilakukan analisa morfologi pada membran tersebut dikarenakan pada komposisi itu dihasilkan membran terbaik berdasarkan nilai rejeksi dan fluks. Membran terbaik bisa dilihat dari grafik pada gambar 4.1.



Gambar 1. Perpotongan titik antara fluks dan rejeksi membran PVDF

Gambar diatas menunjukkan titik perpotongan antara nilai rejeksi dan fluks yang menghasilkan

komposisi membran terbaik yang berada pada komposisi 15/84/1 (PVDF/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 50% H₂O: 50% CH₃OH. Setelah menentukan membran PVDF terbaik dilakukan analisa morfologi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).



(a)

(b)

Gambar 2. Hasil uji SEM membran PVDF terbaik pada komposisi 15/84/1 (PVDF/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 50% H₂O: 50% CH₃OH.:

(a) Penampang melintang dan (b) Morfologi permukaan

Dari gambar 2 hasil uji morfologi diatas dapat dilihat diketahui bahwa membran PVDF mempunyai struktur asimetri dengan tipe kombinasi *sponge* dan *finger pore*. Membran dengan tipe *sponge pore* berbentuk seperti spons berongga-rongga kecil sedangkan membran dengan tipe *finger pore* berbentuk seperti spons untuk lapisan atas dan rongga memanjang seperti jari untuk lapisan bawah. Membran dengan struktur asimetri akan memiliki kinerja yang lebih baik daripada membran dengan struktur simetri. Membran simetri memiliki fluks dan rejeksi yang berbeda jauh secara signifikan, sedangkan membran asimetri memiliki pori yang kecil di bagian atas dan memiliki pori yang besar di bagian bawah, hal ini mengakibatkan membran PVDF memiliki fluks dan rejeksi yang baik secara seimbang.

Dari hasil analisa ukuran pori pada membran terbaik menggunakan instrumen *Surface Area Analyzer* (SAA) didapat nilai ukuran pori sebesar 0,0019134 μm .

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil suatu kesimpulan bahwa:

1. Pada uji kekuatan mekanik membran, nilai *Modulus Young* tertinggi ada pada komposisi 16/84/0 (PVDF/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 100% CH₃OH yaitu sebesar 3879,31 N/m².
2. Pada pengukuran fluks, nilai fluks tertinggi ada pada komposisi 14/84/2 (PVDF/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 100% H₂O yaitu sebesar 2626,74 L/m².jam, sedangkan nilai rejeksi tertinggi terdapat pada komposisi 16/84/0 dengan non pelarut 100% metanol yaitu sebesar 95,33%.
3. Pada pembuatan membran PVDF telah dihasilkan membran yang memiliki ukuran pori ultrafiltrasi yakni sebesar 0,0019134 μm , dan struktur membran asimetris dengan tipe kombinasi *sponge* dan *finger pore*.
4. Membran terbaik didapatkan pada komposisi 14/84/2 (PVDF/NMP/NH₄Cl) pada non pelarut 50% H₂O: 50% CH₃OH yang mempunyai nilai fluks sebesar 2449,78 L/m².jam, nilai *Modulus Young* 3571,43 N/m² dan rejeksi sebesar 94,67%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chatterjee Debabrata, Vidya Rupini Patnam dan Anindita Sikdar. 2008. Kinetics of the decoloration of reactive dyes over visible light-irradiated TiO₂ semiconductor photocatalys. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 156, hal. 435-441.
2. N.A. Hashim., F. Liu., K. Li. 2009. A simplified method for preparation of hydrophilic PVDF membranes from an amphiphilic graft copolymer. *Journal of Membrane Science*. Vol. 345, hal.134-141.
3. Fu. Liu., N.A. Hashim., Liu. Yutie., K.Li. 2011. Progress in the Poduction and Modification of PVDF Membranes. *Journal of Membrane Science*. Vol. 375, hal. 1-27.
4. Noble, Richard D. and Stern, S. Alexander. 2003. *Membrane Separations Technology : Principles and Applications*. Netherlands: Elsevier Science B.V, hal 138.
5. Kim. J.H., Lee. K. W. 1998. Effect of PEG Additive On Membrane Formation By Phase Inversion. *Journal of Membrane Science*. Vol. 138, hal. 153-163.
6. Zeng Y, Yang C, *et al.* 2007. Feasibility investigation of oily wastewater treatment by combination of zinc and PAM in coagulation/flocculation. *J. Hazard. Mater.* 147 (3): 991-6.

7. Bottino, A., Capannelli, G., Comite, A. 2001. Novel porous poly(vinylidene fluoride) membranes for membrane distillation. *Desalination*. Vol. 183, No.2, hal. 375–382.
8. O'Mahony T, Guibal E, Tobin JM. Reactive dye biosorption by *Rhizopus arrhizus* biomass. *Enzyme Microb Technol* 2002;31:456–63.
9. Scott, Keith., Hughes. R. 1996. *Industrial Membrane Separation Technology*. Great Britain: Hartnoll's Ltd. Bodmin.

